

การประเมินขนาดและตำแหน่งการเกิดฟ้าผ่าจากการวัดค่าแรงดันเหนี่ยวนำ

นายจตุพงษ์ พุทธิรักษา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2550

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

AN EVALUATION OF LIGHTNING MAGNITUDE AND LOCATION BY INDUCED VOLTAGE
MEASUREMENT

Mr.Chatupong Phuttharaksa

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic year 2007

Copyright of Chulalongkorn University

501779

จตุพงษ์ พุทธิรักษา : การประเมินหาขนาดและตำแหน่งการเกิดฟ้าผ่าจากการวัดค่าแรงดันเหนี่ยวนำ (AN EVALUATION OF LIGHTNING MAGNITUDE AND LOCATION BY INDUCED VOLTAGE MEASUREMENT). อ.ที่ปรึกษา: อ.ดร.วิระพันธ์ รังสีวิจิตรประภา, 85 หน้า.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาเพื่อพัฒนาและออกแบบระบบตรวจจับเพื่อประเมินหาขนาดและตำแหน่งของฟ้าผ่า โดยการวัดค่าแรงดันเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ระบบตรวจจับฟ้าผ่านี้แบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนคือ ส่วนรับสัญญาณ และส่วนการประมวลผล โดยส่วนรับสัญญาณที่ใช้เป็นสายอากาศแบบบวงโดยมีลักษณะพื้นที่หน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส สำหรับวัดความเข้มของสนามแม่เหล็กที่แพร่กระจายออกมาจากลำฟ้าผ่า ค่าที่วัดได้จะอยู่ในรูปของแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ จากนั้นนำค่ายอดของรูปคลื่นแรงดันเหนี่ยวนำที่วัดได้จากเครื่องดิจิทัลออสซิลอสโคปมาวิเคราะห์หาขนาดและตำแหน่งของฟ้าผ่า โดยซอฟต์แวร์ที่ถูกพัฒนาขึ้นด้วยโปรแกรม Visual Basic

ในส่วนการประมวลผล โปรแกรมจะแสดงผลค่าของกระแสฟ้าผ่าเป็นค่า di/dt และตำแหน่งของฟ้าผ่าเป็นพิกัด (x,y) ผลการทดสอบระบบตรวจจับเพื่อประเมินหาขนาดและตำแหน่งของฟ้าผ่านี้ ในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูงที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยใช้เครื่องสร้างกระแสอิมพัลส์ขนาด 75 kA 30 kJ ที่มีอยู่ในห้องปฏิบัติการ ทำการทดสอบที่ขนาดกระแส อิมพัลส์ 5 kA รูปคลื่นมาตรฐาน 8/20 จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าระบบตรวจจับเพื่อประเมินหาขนาดและตำแหน่งของฟ้าผ่า สามารถระบุขนาดของกระแสฟ้าผ่าและตำแหน่งโดยมีค่าความผิดพลาดน้อยกว่า 25 % สำหรับกระบวนขนาด และผิดพลาดน้อยกว่า 30 % สำหรับการระบุตำแหน่ง

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าลายมือชื่อนิสิต..... *อ.สุพจน์ นนธ์อัครา*
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้าลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา 2550

4670668421 : ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORDS : LIGHTNING CURRENT / LIGHTNING LOCATION/ INDUCED VOLTAGE
MEASUREMENT

CHATUPONG PHUTTHARAKSA : AN EVALUATION OF LIGHTNING
MAGNITUDE AND LOCATION BY INDUCED VOLTAGE MEASUREMENT

THESIS ADVISOR: WEERAPUN RUNGSEEVIJITPRAPA, Dr.-Ing. 85 pp.

This thesis is a study for developing and designing an inspected system for the evaluation of lightning magnitude and location by induced voltage measurement. The inspected system consists of two parts, which are Receiving signal part and Evaluating part. The receiving signal part was designed as a loop antenna for measuring the magnetic field intensity, which spread from the lightning stroke, and the measurement based on the induced voltage. Then the stored data will be analyzed to find the magnitude and location of the lightning using the developed program from Visual Basic.

The Evaluation results show the magnitude of impulse current in form of di/dt and its location in coordination of (x, y). The test on the evaluation of lightning magnitude and localization by induced voltage measurement was taken in The High Voltage Research Laboratory at Faculty of Engineering, Chulalongkorn University using impulse generator of 75 kA 30 kJ with the impulse current of 5kA and the standard waveform of 8/20. The result shows that the evaluation of lightning magnitude and location can provide the magnitude of impulse current with error less than 25 % and the location error less than 30 %.

Department..... Electrical Engineering..... Student's Signature..... *Ch. Phuttharaksa*.....
Field of study... Electrical Engineering... Advisor's Signature... *Dr. Weerapun Rungseevijitprapa*.....
Academic year 2007.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากอาจารย์ ดร.วีระพันธ์ รั้งสีวิจิตรประภา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้ให้แนวทางการศึกษาวิจัย คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่างๆของการทำวิทยานิพนธ์ด้วยดีตลอดมา รวมทั้งได้กรุณาตรวจสอบและแก้ไขข้อบกพร่องจนกระทั่งวิทยานิพนธ์เสร็จสมบูรณ์

นอกจากนั้น ผู้วิจัยต้องขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบไปด้วย อาจารย์ ดร.คมสัน เพ็ชรรักษ์ และอาจารย์ ดร.วันเฉลิม โปรา ที่ได้กรุณาตรวจสอบแก้ไขและให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อย คุณไชยวัฒน์ อภินะวิทย์ ที่ได้คำปรึกษาทางด้านวงจรอิเล็กทรอนิกส์พร้อมทั้งเชื้อเพื่ออุปกรณ์ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ คุณพงศ์พันธุ์ ปริญญาต์ ที่ได้คำแนะนำ และความช่วยเหลือในใช้อุปกรณ์ต่างในการทดสอบ ตลอดจนพี่ๆ เพื่อนๆ และบุคคลากรท่านอื่นในหอปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูงทุกท่านที่เป็นกำลังใจและช่วยเหลือข้าพเจ้าในด้านต่างๆด้วยดีเสมอมา ผู้วิจัยขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้

เหนือสิ่งอื่นใดผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และญาติพี่น้องของข้าพเจ้าทุกคนที่เป็นให้กำลังใจที่ดีที่สุดและการสนับสนุนในทุก ๆ ด้านตลอดมา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อวิทยานิพนธ์	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ญ

บทที่

1. บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์.....	2
1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
2. หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวกับฟ้าผ่า	4
2.1 การศึกษาเรื่องฟ้าผ่า	4
2.2 สาเหตุของฟ้าผ่า	5
2.2.1 ลักษณะของฟ้าผ่า.....	6
2.3 กลไกการเคลื่อนตัวของฟ้าผ่า.....	8
2.4 ผลกระทบของฟ้าผ่า.....	10
2.4.1 ผลกระทบทางความร้อน	10
2.4.2 ผลกระทบทางกล.....	11
2.4.3 ผลกระทบทางไฟฟ้า	11
2.5 ระบบตรวจจับและบอกตำแหน่งฟ้าผ่าที่มีใช้อยู่ในปัจจุบัน	12
2.6 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	14
2.6.1 แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ.....	14
2.6.2 กฎของบิโอต์-ซาวาร์ต (Biot-Savart's Law)	16

บทที่	หน้า
3. การออกแบบและประกอบสร้างระบบตรวจจับเพื่อประเมินหาค่าขนาด และตำแหน่งของฟ้าผ่า โดยการวัดค่าแรงดันเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้า.....	19
3.1 หลักการทำงานของระบบ.....	20
3.2 ส่วนรับสัญญาณ.....	20
3.3 ส่วนประมวลผล.....	23
3.3.1 โปรแกรมคำนวณค่าแรงดันเหนี่ยวนำ.....	24
3.3.2 โปรแกรมคำนวณขนาด และตำแหน่งฟ้าผ่า.....	25
3.4 การเตรียมอุปกรณ์สำหรับทดสอบ.....	26
4. การทดสอบระบบตรวจจับเพื่อประเมินหาขนาดและตำแหน่งฟ้าผ่าโดยการวัดค่าแรงดัน เหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้า.....	31
4.1 การทดสอบและประเมินผลส่วนรับสัญญาณ.....	32
4.1.1 การทดสอบเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของค่าแรงดันเหนี่ยวนำกับมุมตั้ง ฉาก (ทิศทางของเซ็นเซอร์ที่หันเข้าหาฟ้าผ่า).....	33
4.1.1.1 การทดสอบกับกระแสอิมพัลส์บวก.....	34
4.1.1.2 การทดสอบกับกระแสอิมพัลส์ลบ.....	49
4.1.2 การทดสอบเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของค่าแรงดันเหนี่ยวนำกับ ระยะทาง (ตำแหน่งของเซ็นเซอร์กับตำแหน่งของฟ้าผ่า).....	62
4.1.2.1 การทดสอบกับกระแสอิมพัลส์บวก.....	62
4.1.2.2 การทดสอบกับกระแสอิมพัลส์ลบ.....	65
4.2 การทดสอบและประเมินผลส่วนการประมวลผล.....	68
4.2.1 การทดสอบโปรแกรมคำนวณค่าแรงดันเหนี่ยวนำ.....	68
4.2.2 โปรแกรมคำนวณหาขนาดและตำแหน่งฟ้าผ่า.....	69
5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	70
รายการอ้างอิง.....	72
ภาคผนวก.....	74
ภาคผนวก ก.....	75
ภาคผนวก ข.....	83
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	85

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ตารางแสดงผลการวัดค่าแรงดันเหนี่ยวนำที่เซ็นเซอร์ S1 และ S2 จากการยิงกระแส อิมพัลส์ บวก ขนาด 5 kA เพื่อวัดค่าเมื่อปรับเซ็นเซอร์ในมุมต่างๆ ตามการทดสอบที่ 4.1.1.1/1	35
4.2 ตารางแสดงผลการวัดค่าแรงดันเหนี่ยวนำที่เซ็นเซอร์ S1 และ S2 จากการยิงกระแส อิมพัลส์ บวก ขนาด 5 kA เพื่อวัดค่าเมื่อปรับเซ็นเซอร์ในมุมต่างๆ ตามการทดสอบที่ 4.1.1.1/2	44
4.3 ตารางแสดงผลการวัดค่าแรงดันเหนี่ยวนำที่เซ็นเซอร์ S1 และ S2 จากการยิงกระแส อิมพัลส์ ลบ ขนาด -5 kA เพื่อวัดค่าเมื่อปรับเซ็นเซอร์ในมุมต่างๆ ตามการทดสอบที่ 4.1.1.2/1	50
4.4 ตารางแสดงผลการวัดค่าแรงดันเหนี่ยวนำที่เซ็นเซอร์ S1 และ S2 จากการยิงกระแส อิมพัลส์ ลบ ขนาด -5 kA เพื่อวัดค่าเมื่อปรับเซ็นเซอร์ในมุมต่างๆ ตามการทดสอบที่ 4.1.1.2/2	56
4.5 ตารางแสดงผลการวัดค่าแรงดันเหนี่ยวนำที่เซ็นเซอร์ S1 และ S2 จากการยิงกระแส อิมพัลส์ บวก ขนาด 5 kA เพื่อวัดค่าเมื่อวางเซ็นเซอร์ในตำแหน่งต่างๆ ตามการทดสอบที่ 4.1.2.1	63
4.6 ตารางแสดงผลการวัดค่าแรงดันเหนี่ยวนำที่เซ็นเซอร์ S1 และ S2 จากการยิงกระแส อิมพัลส์ ลบ ขนาด -5 kA เพื่อวัดค่าเมื่อวางเซ็นเซอร์ในตำแหน่งต่างๆ ตามการทดสอบที่ 4.1.2.2	65
4.7 ตารางการเปรียบเทียบการหาขนาดและตำแหน่งของกระแสอิมพัลส์ระหว่างค่าที่ได้จาก ทดสอบ และค่าจากการคำนวณด้วยโปรแกรม.....	69

สารบัญภาพ

ภาพประกอบที่	หน้า
2.1 ลักษณะของก้อนเมฆฝนฟ้าคะนอง หรือเมฆคิวมูโลนิมบัส (Cumulonimbus) ที่ก่อให้เกิดฟ้าผ่า.....	5
2.2 ความแตกต่างของลักษณะของฟ้าผ่าทั้ง 4 ประเภท.....	6
2.3 ลักษณะการเกิดฟ้าผ่าระหว่างก้อนเมฆกับพื้นดิน 4 ประเภทโดย(Uman, 1987)	7
2.4 การแยกตัวของชั้นประจุบวกและประจุลบบนก้อนเมฆเนื่องจากแรงลม	8
2.5 ขั้นตอนการเคลื่อนตัวของฟ้าผ่า.....	9
2.6 ตัวอย่างภาพถ่ายฟ้าผ่าซ้ำ (Multi strokes).....	10
2.7 แสดงการหาระยะทางจากแต่ละสถานีเพื่อกำหนดตำแหน่งฟ้าผ่า	12
2.8 แสดงลักษณะการหักเหและการสะท้อนของเสียง.....	13
2.9 รูปภาพแสดงเส้นแรงแม่เหล็กตัดผ่านขดลวด.....	14
2.10 รูปแสดงมุมระหว่างความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กกับพื้นที่ตั้งฉาก.....	16
2.11 ความเข้มของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นที่จุด P เนื่องจากเส้นทางการไหลของชั้นกระแส <i>Idl</i>	17
3.1 แบบจำลองการทำงานของระบบตรวจจับฟ้าผ่าโดยการวัดค่าแรงดันเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้า	19
3.2 ส่วนรับสัญญาณของระบบ	21
3.3 แสดงมุมตั้งฉากระหว่างสนามแม่เหล็กกับพื้นที่หน้าตัดของขดลวด	21
3.4 ภาพแสดงมิติของแกนพลาสติก.....	22
3.5 ลักษณะของแกนเมื่อพันขดลวด	22
3.6 (a) การต่อขั้วปลายแยกสายกับขดลวด (b) การวางขดลวดติดตั้งภายในกล่อง (c)-(d) การติดตั้งกล่องเซ็นเซอร์บนฐานกระบอ กพีวีซี สำหรับปรับมุมในการทดสอบ.....	23
3.7 แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมหาค่าแรงดันเหนี่ยวนำ	24
3.8 แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมหาขนาด และตำแหน่งฟ้าผ่า	25
3.9 แสดงการจัดวางองค์ประกอบและอุปกรณ์สำหรับทดสอบ	27
3.10 กล่องรับสัญญาณ	28
3.11 สายนำสัญญาณพร้อมหัวต่อ BNC 50 ohm.....	28

ภาพประกอบที่	หน้า
3.12 สายเคเบิลนำสัญญาณแบบ 4 สายตีเกลียวมี Shield พร้อมหัวต่อแบบ 4 ช่อง.....	28
3.13 เครื่องวัดสัญญาณดิจิทัลแบบ 4 ช่อง ยี่ห้อ Tektronix รุ่น TD 3054 B	29
3.14 เครื่องวัดสัญญาณดิจิทัลแบบ 4 ช่อง ยี่ห้อ LeCroy รุ่น 9384 M	29
3.15 เครื่องวัดสัญญาณดิจิทัลแบบ 4 ช่อง ยี่ห้อ LeCroy รุ่น Wave Runner 6050.....	29
3.16 ไรกอฟล็กคอยล์.....	30
3.17 หัวต่อวัดสัญญาณไรกอฟล็กคอยล์	30
3.18 เครื่องกำเนิดกระแสพัลส์ 75 kA 30 kJ	30
4.1 (a) ลักษณะการทำงานของระบบตรวจจับสัญญาณ (b) ลักษณะการแพร่กระจาย สนามแม่เหล็กบนพื้นที่ทดสอบ.....	32
4.2 รูปแสดงการวางตำแหน่งของเซ็นเซอร์และลำฟ้าผ่าในการทดสอบ	33
4.3 รูปแสดงตำแหน่งของเซ็นเซอร์และลำฟ้าผ่าบนพื้นที่ทดสอบ	34
4.4 รูปแสดงตัวอย่างการปรับมุมของเซ็นเซอร์กับระนาบ X, Y.....	34
4.5 (a) แสดงตำแหน่งเซ็นเซอร์และแท่งอะลูมิเนียม บนพื้นที่ทดสอบ (b) แสดงการต่อ สายสัญญาณและอุปกรณ์อื่นๆ	35
4.6 (a) รูปคลื่นกระแสพัลส์ (Impulse current 5 kA 8/20 μ s) (b)-(v) รูปคลื่นแรงดันเหนี่ยวนำที่ วัดได้จากเซ็นเซอร์ S1 และ S2 แบ่งเป็น VS1N, VS1E, VS2N และ VS2E.....	36
4.7 (a)-(d) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของมุมและขนาดของแรงดันเหนี่ยวนำ จาก การทดสอบ และจากการคำนวณที่เซ็นเซอร์ S1 และเซ็นเซอร์.....	42
4.8 แสดงผลของสนามแม่เหล็กจากส่วนประกอบของวงจรจำลองฟ้าผ่าต่อเซ็นเซอร์ S1	43
4.9 รูปแสดงตำแหน่งของเซ็นเซอร์และลำฟ้าผ่าบนพื้นที่ทดสอบ	44
4.10 (a)-(f) รูปคลื่นแรงดันเหนี่ยวนำที่วัดได้จากเซ็นเซอร์ S1 และ S2 แบ่งเป็น VS1N, VS1E, VS2N และ VS2E.....	45
4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของมุมและขนาดของแรงดันเหนี่ยวนำ จากการ ทดสอบ และจากการคำนวณที่เซ็นเซอร์ S1 และเซ็นเซอร์ S2	48
4.12 รูปแสดงตำแหน่งของเซ็นเซอร์และลำฟ้าผ่าบนพื้นที่ทดสอบ	49
4.13 (a) รูปคลื่นกระแสพัลส์ลบ (b)-(o) รูปคลื่นแรงดันเหนี่ยวนำที่วัดได้จากเซ็นเซอร์ S1 และ S2 แบ่งเป็น VS1N, VS1E, VS2N และ VS2E.....	50
4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของมุมและขนาดของแรงดันเหนี่ยวนำ จากการ ทดสอบ และจากการคำนวณที่เซ็นเซอร์ S1 และเซ็นเซอร์ S2.....	55

ภาพประกอบที่	หน้า
4.15 รูปแสดงตำแหน่งของเซ็นเซอร์และลำฟ้าผ่านพื้นที่ทดสอบ.....	56
4.16 (a)-(f) รูปคลื่นแรงดันเหนี่ยวนำที่วัดได้จากเซ็นเซอร์ S1 และ S2 แบ่งเป็น VS1N, VS1E, VS2N และ VS2E.....	57
4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของมุมและขนาดของแรงดันเหนี่ยวนำ จากการทดสอบ และจากการคำนวณที่เซ็นเซอร์ S1 และเซ็นเซอร์ S2	61
4.18 รูปแสดงตำแหน่งเริ่มต้น และตำแหน่งทดสอบของเซ็นเซอร์และลำฟ้าผ่านพื้นที่ทดสอบ ..	62
4.19 (a)-(h) ค่าแรงดันเหนี่ยวนำของเซ็นเซอร์ S1 (VS1N, VS1E) และ ค่าแรงดันเหนี่ยวนำของเซ็นเซอร์ S1 (VS2N, VS2E) เมื่อ S1,S2 อยู่ที่ตำแหน่งต่างๆ.....	63
4.20 (a)-(h) ค่าแรงดันเหนี่ยวนำของเซ็นเซอร์ S1 (VS1N, VS1E) และ ค่าแรงดันเหนี่ยวนำของเซ็นเซอร์ S1 (VS2N, VS2E) เมื่อ S1,S2 อยู่ที่ตำแหน่งต่างๆ.....	66
ก.1 การแบ่งพื้นที่ทดสอบเป็น 4 ส่วน	75
ก.2 แสดงการแพร่กระจายของสนามแม่เหล็ก.....	78
ก.3 Induced voltages VS Angle.....	79
ก.4 แสดงตำแหน่งของเซ็นเซอร์และลำฟ้าผ่า.....	79
ก.5 ภาพแสดงทิศทางของสนามแม่เหล็กต่อพื้นที่หน้าตัดของเซ็นเซอร์ S1 และ S2.....	81
ข.1 แสดงการป้อนข้อมูลในการใช้โปรแกรมคำนวณค่าแรงดันเหนี่ยวนำ.....	83
ข.2 แสดงการป้อนข้อมูลในการใช้โปรแกรมหาขนาด และตำแหน่งฟ้าผ่า.....	84